

## RÉTEGELT SZERKEZETŰ OPTIKAI ASZTAL SZILÁRDSÁGTANI ÉS HŐDEFORMÁCIÓS VIZSGÁLATA

**Kiss Dániel**

egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet,  
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [kiss.daniel@uni-miskolc.hu](mailto:kiss.daniel@uni-miskolc.hu)

**Szilágyi Attila**

egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet,  
Szerszámgépek Intézeti Tanszéke  
3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, e-mail: [szilagyi.attila@uni-miskolc.hu](mailto:szilagyi.attila@uni-miskolc.hu)

### **Absztrakt**

*Cikkünkben egy nagy pontosságú hologramnyomtató berendezésben alkalmazott rétegelt szerkezetű optikai asztal szilárdságtani és hődeformációs vizsgálatain keresztül történő alak- és méretoptimalizációs folyamatát mutatjuk be. Számításainkat integrált mérnöki tervezőrendszer geometriai modellező, valamint mechanikai és hőtani szimulációs moduljait felhasználva végezzük. Vizsgálatainkhoz a CREO 6.0 integrált mérnöki tervezőrendszer idevágó szakmoduljait használjuk.*

**Kulcsszavak:** VEM, numerikus, mechanikai, hőtani

### **Abstract**

*In this paper, we present the shape and size optimization process of a laminated optical table used in a high-precision hologram printing machine through strength and thermal deformation studies. We perform our calculations using the geometric modeling and mechanical and thermal simulation modules of an integrated engineering design system. We use the relevant modules of the CREO 6.0 integrated engineering design system for our investigations.*

**Keywords:** FEM, numerical, mechanical, thermal

### **1. Bevezetés**

Gépek tervezése során figyelembe kell venni minden olyan tényezőt, mely az adott gép pontosságával és üzem közbeni paramétereivel kapcsolatban áll. Ezen tényezők magában foglalják az egyes hőtani és mechanikai jelenségek okozta deformációkat, illetve rezgéseket. Ezek hatásával már a tervezés fázisában számolni kell, mert ilyenkor a leg gazdaságosabb az egyes hibák feltárása. Mivel a tervezési fázisban nem áll rendelkezésre fizikailag az eszköz, így ezeket a jelenségeket szimulációs szoftverek segítségével tudjuk modellezni (Baráti, 1988).

A vizsgálandó alkatrész egy kompozit szerkezetű segédasztal, melynek feladata, hogy két lézer eszközt egymással szemben, az elérhető legjobb pontossággal tudjon megvezetni. A két lézereszköz egy-egy kocsin helyezkedik el, melyeknek a megvezetése gördülő papucsos vezetékekkel van ellátva. Az ilyen vezetékeket az ipar számára kereskedelmi áruként több különféle pontossági osztályban lehet megvásárolni, azonban a pontosság biztosítása nem csak ezen alkatrészek tulajdonságain múlik, ha-

nem azon a hordozó alapon amire felszereljük. Ezen alkatrész mechanikai tulajdonságait kell vizsgálni, melyet végelesemes analízissel fogunk elemezni (Páczelt, 1999; Kiss és Szilágyi, 2019).

Az egyes lézereszközöket általában optikai asztalokra szokás felszerelni, azonban az optikai asztalok síklapúsága a katalógus adatok alapján nem éri el azt a pontosságot, amit egy ilyen gördülő papucsos vezetékhez a gyártók előírnak. Ezért egy olyan segéd asztalt kell megtervezni, amely megfelelő mechanikai pontossággal bír, továbbá megfelelő merevséggel és jó hőtani tulajdonságokkal rendelkezik. E követelményeknek megfelelően tekintjük a térhálós szerkezetű alumínium verziót (1. ábra) a rossz hőtani tulajdonságok miatt elvetettük, az acél alapanyagút pedig a jelentős tömeg miatt nem tartottuk megfelelő választásnak. Végleges megoldásnak egy kompozit szerkezetű megoldást választottunk, melyet a 2. ábra szemléltet, ebben alumínium-gránit-alumínium ragasztott szerkezetet alkalmaztunk. A kompozit szerkezetű asztal kialakításakor arra törekedtünk, hogy alkalmasan megválasztott geometriai méretek eredményeként olyan, minimális tömegű struktúrát alakítsunk ki, amely funkcióit – ergonómiai elveket is figyelembe véve – maximálisan töltsse be, mindezt maximális statikai és dinamikai merevség és minimális hődeformációs képességek mellett.



**1. ábra.** Térhálós szerkezetű segédasztal



**2. ábra.** Kompozit szerkezetű segédasztal a vezetékrendszerrel

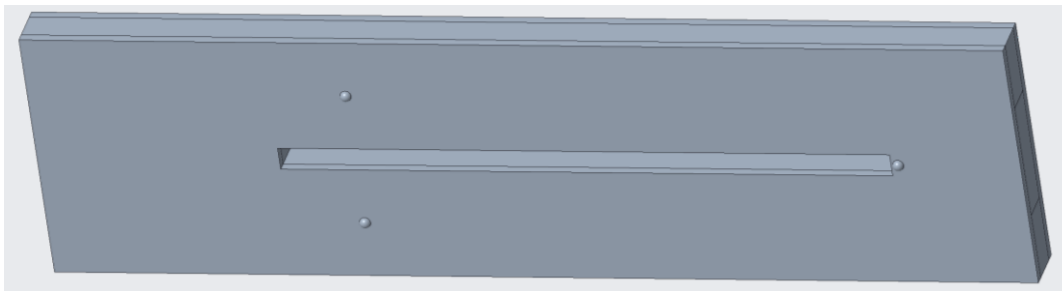
Az alumínium anyagra azért esett a választás, mert megfelelő ötvözet alkalmazása során kellően erős alapanyaggal lehet dolgozni, melyekben az egyes rögzítő furatok megfelelően megmunkálhatók, de a tömeg csökkenthető. A választott ötvözet az EN-AW-2014-T6, melyet a szimulációk során is

használunk. Hasonló tulajdonságokkal bír még az EN-AW-7075-T6 jelű alumínium ötvözet is. A gránitot az alacsony hőtágulási együtthatója és a jó rezgéscsillapító képessége miatt választottuk.

## 2. A geometriai méretek meghatározása

Kiindulási méretként az alkatrészek méreteit rögzítettük, kivéve a belső gránitmag méreteit. Az alumínium alapanyagú alsó és felső fedőlapok befoglaló méretei  $552,5 \times 2090 \times 20$  mm értékekkel vannak figyelembe véve a szimulációs vizsgálatok során.

Az asztalt a megfelelő beállítás miatt egy hárompontos alátámasztási rendszerrel tervezzük, mellyel a megfelelő magasság és a vízszintek tökéletesen beállíthatók, ennek elrendezését a 3. ábra mutatja. Mivel az optikai asztal hárompontos felfekvése biztosított, ezért szimulációs vizsgálataink során három képzelt pontban tételeztünk fel gömbcsuklós, tehát három szögkoordináta mentén elfordítható megfogási kényszert. Megjegyezzük, hogy az optimalizációs folyamat során e három felfekvési pont helykoordinátáit kombinálva jutottunk el az optimálisan kicsiny maximális lehajlást bemutató dizájnig.

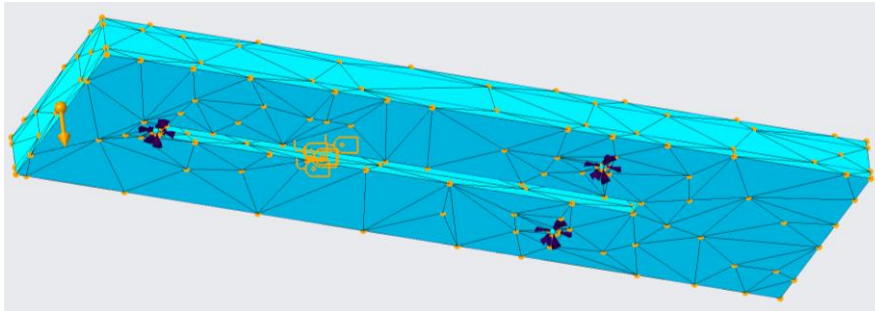


3. ábra. A hárompontos alátámasztás

Ahhoz, hogy az analízisek során elfogadható eredményeket kapjunk, az egyes felhasznált anyagok anyagjellemzőit a szoftverben definiálni kell. Kis alakváltozásokat és elmozdulásokat feltételezve homogén, izotróp, lineáris anyagmodell alkalmaztunk a szokásos anyagjellemzők (sűrűség, Poisson-tényező, Young-modulus) megadásával. Hasonló módon lineáris hőtágulási és deformációs folyamatokat tételeztünk fel, így ehhez szintén lineáris hőtágulási tényezőket tételeztünk fel. Az anyagjellemzőket a tervezőrendszer beépített alapanyag könyvtárából importáltuk. Ezen adatok megadása után a 3D modellen az egyes alkatrészeket végeelemes hálóval kell ellátni, továbbá az egyes kontakt felületeken a ragasztást kell beállítani, mivel az összeállított asztal is ragasztással lesz összeszerelve, ezen lépéseket a 4. ábra ábrázolja.

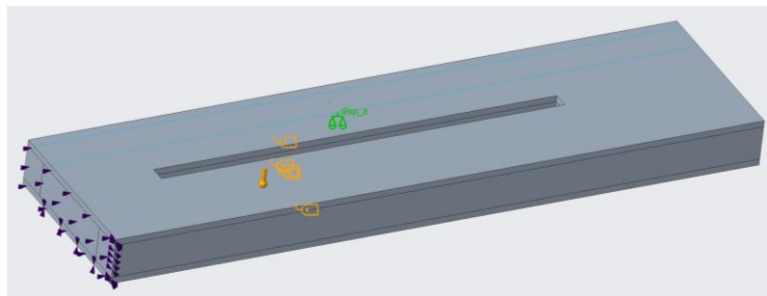
Tekintettel az általunk alkalmazott integrált mérnöki tervezőrendszer korlátaira, szimulációs vizsgálataink során 3D-s testmodelleket tartalmazó geometriai összeállítási modellt alkalmaztunk. Emiatt tehát 3D-s tetraéder kvadrátikus elemek alkalmazására nyílik lehetőségünk a számításokhoz szükséges végeelem-háló elkészítéséhez. Ennek elkészítése automatikusan, a tervezőrendszerbe beépített algoritmus alapján történik. Természetesen – a hálót alkotó tetraédelemek méreteinek változtatásán keresztül – van lehetőségünk jobb minőségű tetraédelemek használatára, azonban ilyenkor – az elemszámnövekedésből adódóan – hosszabb számítási idővel kell kalkulálnunk. Így az eredmények gyorsabb előállítására érdekében hagyatkozunk a beépített hálózó-algoritmus által létrehozott végeelem-hálóra, amely egyébként igényeinknek megfelelő pontossággal biztosít használható eredményeket. Megjegyezzük, hogy optimalizálás során, vagyis amikor az optikai asztal alátámasztási pontjainak pozícióit megadó méretek változnak az önsúlyból eredő optimálisan kicsiny maximális lehajlás érdek-

ében, minden egyes újonnan előálló méretvariáció esetén szintén automatikusan történik a végelemháló generálása. Kompozit héjmodell alkalmazására az általunk használt integrált tervezőrendszerben nincs lehetőség, így a mereven összeragasztott 3D modellekből álló összeállítási modellt kell használnunk.



4. ábra. A hálózott modell

Mivel az alumínium lemezek méretét 20 mm-ben rögzítettük, így az optimalás során csak a középben található gránit geometriáját változtattuk. Ennek során a gránittömb vastagsága volt az egyik változó, a másik pedig a gránitban található nyitás szélessége. Mivel az asztalon szükséges a nyitás kialakítása, annak méreteit az alumínium lemezek fogják meghatározni, de a kitöltő gránit méretei ettől eltérnek, ez igaz az asztal szélességére is. Az így fennmaradó üres részeket poliuretán habbal töltjük ki.



5. ábra. A kitüntetett pont (zölddel jelölve)

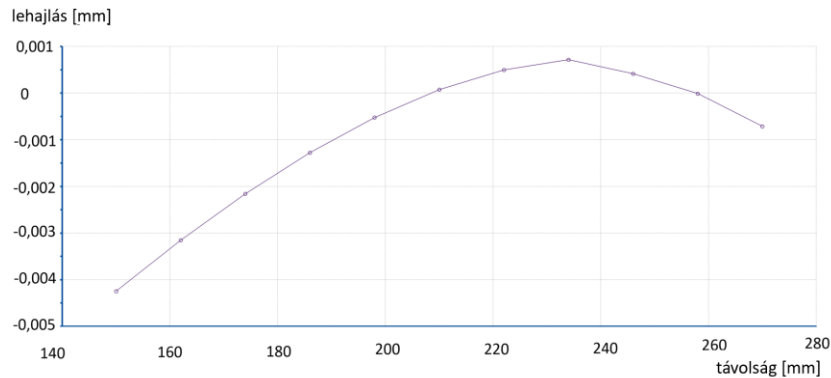
A nyitást több különböző mérettel vizsgáltuk, melyek eredményét a 6. ábra szemlélteti, melyen egy kitüntetett pont elmozdulását vizsgáltuk, aminek helyzetét az 5. ábra mutatja be.

A vizsgálatokból az a következtetés vonható le, hogy a pont elmozdulása 235 mm körüli nyitás esetén a legkisebb, így a további tervezés során, úgy fogjuk módosítani az adott elemeket, hogy ezt a nyitást ezen érték közelében tartjuk.

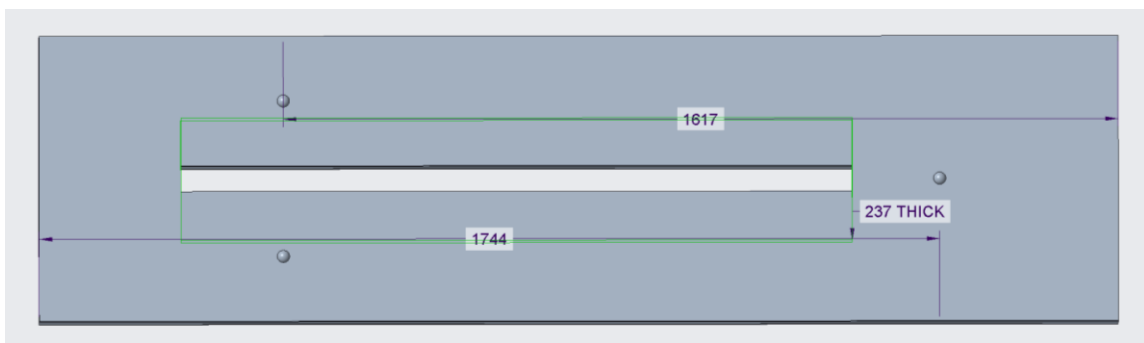
### 3. A hárompontos alátámasztás pontjainak meghatározása

A kompozit szerkezetű asztal statikai merevségének további növeléséhez a hárompontos alátámasztást kell vizsgálat alá venni. ennek megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a hosszirányban nem szimmetrikus asztalnak az önsúlyból adódó lehajlása minimális legyen. Erre a mérnöki tervezőrendszerekben különféle optimalizáló algoritmusok használhatók, melyeknek definiálni kell azokat a változókat

(8. bára) melyeket szeretnénk optimális értékre hozni, a rendszer a szükséges számítások után pedig meghatározza nekünk ezen változók értékét.



6. ábra. A gránitban található nyitás szélességének hatása egy kitüntetett pont elmozdulására



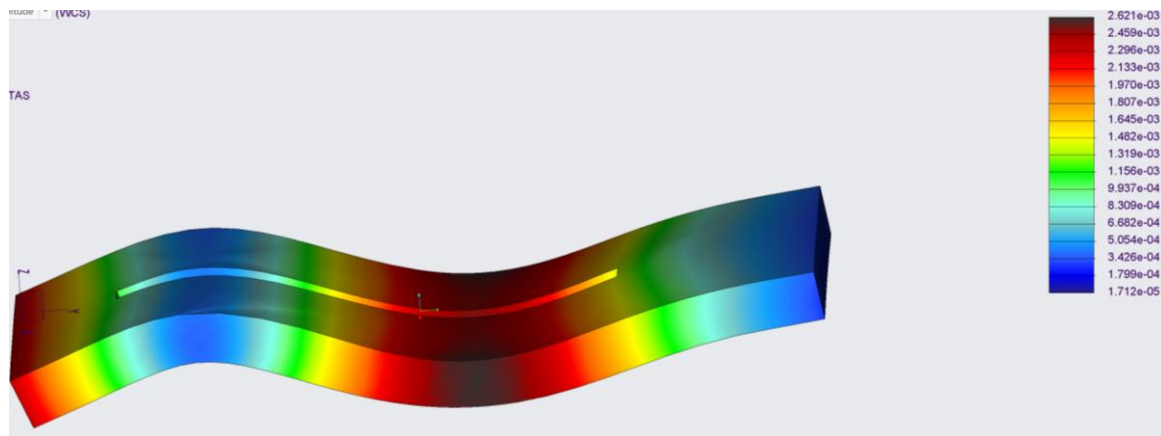
7. ábra. Az optimalizáláshoz használt paraméterek elrendezése

Az optikai asztal valóban csak az önsúlyból származó térfogaton megoszló terhelést viseli szimulációs vizsgálataink során, hiszen a rajta elhelyezkedő egyéb rögzített és mozgó tömegek együttes súlya az asztal önsúlyának 10%-át sem teszi ki. Ezt a töredékterhelést is figyelembevéve, a belőle származó lehajlás érték tizedmikronos értékkel nőne, amelynek esetünkben nincs jelentősége, azonkívül precíz mérése is nehézségekbe ütközne. Másrészt a mozgó tömegek pontos méret- és tömegadatai még jelenleg is tisztázás alatt állnak. Mivel a számításaink során feltételezett nagyságú mozgó tömegekkel számoltunk, és ahogy említettük, ezek tömegét elhanyagolhatónak vettük az asztal önsúlyából eredő terheléshez képest, így az asztal deformációjához csak kismértékben járul hozzá, nagyfokú deformációt nem idéz elő.

Variable	Current	Minimum	Initial	Maximum	Units
d12:GRANIT	237	200	210	270	mm
d20:ALSO	1744	1500	1950	2070	mm
d6:ALSO	1617	1500	1950	2070	mm

8. ábra. Az optimalizáláshoz használt paraméterek értékei

Az optimalizálás során az alátámasztási pontok (7. ábra) hosszirányú helyzetét szeretnénk volna megkapni, illetve ezek függvényében a gránitmag vastagságát. Az optimális értéke meghatározásához rögzíteni kell az asztal és a kitüntetett pont(ok) ok maximális helyzetét, ennek a függvényében a szoftver meghatározza azokat a geometriai méretparamétereket, ahol az alátámasztási pontok és a gránitvastagsága a lehető legkisebb elmozdulást adja.



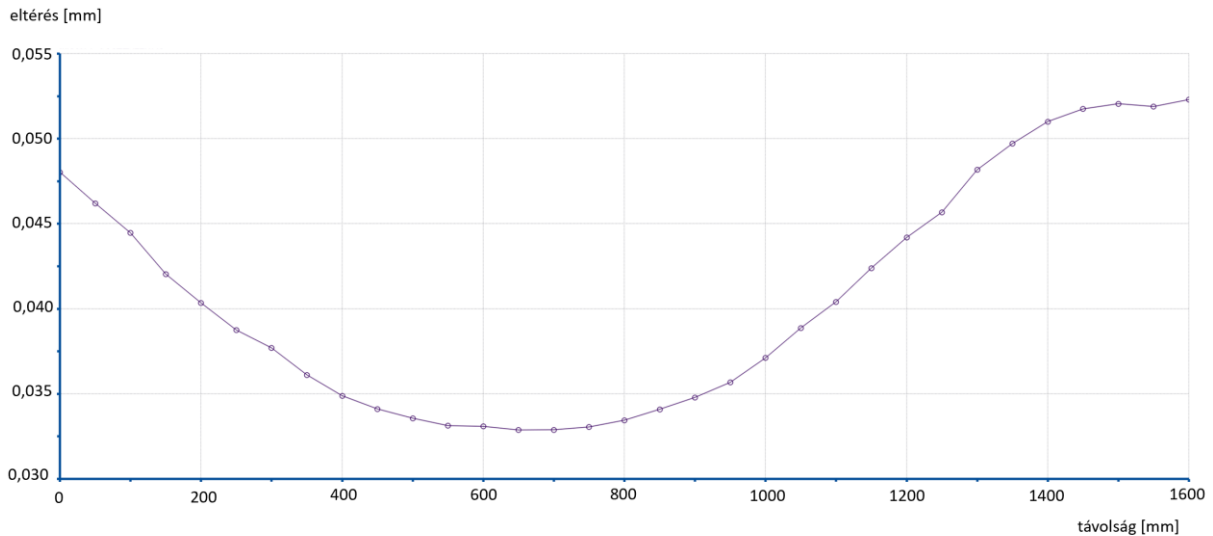
9. ábra. Az optimalizáció eredménye

A 9. ábra az optimalizált helyzetű alátámasztási pontokon nyugvó optikai asztal síkjára merőleges elmozdulásmezőjét jeleníti meg, amelyből kiolvasható, hogy a legnagyobb lehajlást elszenvedő pontjában a lehajlás mértéke közel 2,6 mikrométer, ami 10%-a annak a pontossági intervallumnak, amelyet a fejlesztésben résztvevő fizikus kollégák az előzetes tervek kidolgozása során a pontos és zavartalan lézerműködés és hologramírás szempontjából rögzítettek. Megjegyezzük, hogy a rögzítési pontban elmozdulás természetesen nem jön létre. A kiszámított pontok értékeit és a gránitmag vastagságát rögzítjük a további tervezési folyamat során.

#### 4. Hődeformációs vizsgálat

A hődeformációs vizsgálat során arra keressük a választ, hogy az adott alkatrész hőmérsékletének  $1^{\circ}\text{C}$ -al történő megváltoztatása esetén milyen deformációk lépnek fel a szerkezetben. A vizsgálat során azt feltételezzük, hogy a berendezés hőmérséklete a környezetével együtt  $20^{\circ}\text{C}$ -ról  $21^{\circ}\text{C}$ -ra változik és ezt az értéket a teljes szerkezet átveszi, azaz átmelegszi. Mivel a berendezés klimatizált helyiségben működik, melynek temperált környezeti hőmérséklettartománya  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  értéken belül biztosítható, ezért modelleztünk 1 fokos hőváltozásra bekövetkező hőtágulás-mezőt. Tehát szimulációs vizsgálataink során kezdő hőmérsékletként  $+20$  fokos értéket, valamint  $+1$  fokos hőterhelést tételünk föl. Hőtani szimulációs vizsgálataink során arról kívántunk meggyőződni, hogy ilyen mértékű hőingadozás milyen nagyságú – elsősorban keresztirányú – hőtágulást eredményez. Azért tartottuk szem előtt a keresztirányú (az asztal szélességével párhuzamos irányú) hődeformációkat, mert ezek nagysága befolyásolja érdemben az egymással szemben lévő lézeregységekből kibocsátott lézernyalábok állandónak feltételezett fáziskülönbségét, a mely viszont a megírt hologram minősége szempontjából fontos.

A diagramról, melyet a 10. ábra tartalmaz, leolvasható, hogy a lézerek közötti távolság maximum  $5\mu\text{m}$ -t növekszik a teljes lökethossz mentén, mely a kívánt tűrés értéken belül marad. A konstrukción nem szükséges változtatni, így a számítások alapján kapott paramétereket változatlanul hagyjuk.



**10. ábra.** A hődeformációs vizsgálat alapján kapott távolságnövekedés a lézeregységek között a lökethossz mentén

## 5. Összefoglalás

Jelen cikkünkben bemutattuk, hogyan lehet egy berendezés tervezése során felhasználni a numerikus módszereket, melyek közül főként a végeleemes módszerrel foglalkoztunk. Bemutattuk egy példa során az egyes mechanikai vizsgálatok szükségességét és eredményességét. Ismertetésre került, hogyan lehet a végeleemes szoftvereket, melyek napjainkban minden nagyobb mérnöki tervezőrendszer részét képezi, ezáltal nagyban hozzájárulnak a mérnöki munka sikeres elvégzéséhez.

## 6. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## Irodalom

- [1] Baráti, A. (1988). *Szerszám-gép-vizsgálatok*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- [2] Páczelt, I. (1999). *Végeleemmódszer a mérnöki gyakorlatban*. I. kötet, Miskolci Egyetemi Kiadó, pp. 36-37.
- [3] Kiss, R., Szilágyi, A. (2019). Analysis of the dynamic behaviour of the CNC machine centre by FEM. *Design of Machines and Structures*, 9(1), 24-28.